

O CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO NA MANUFATURA DE AUTOPEÇAS

Eric Batista FERREIRA¹

Quintiliano Siqueira Schroden NOMELINI²

Marcelo Silva de OLIVEIRA³

¹Professor Adjunto II do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Alfenas (Unifal-MG) e professor convidado da Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Possui formação em Laticínios (Instituto Cândido Tostes, 1998), Engenharia Agrônômica (UFLA, 2002), Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária (UFLA, 2004), Doutorado em Estatística e Experimentação Agropecuária (UFLA/Open University, 2007) e Pós-doutorado em Estatística Multivariada (UFLA, 2009).
eric.ferreira@unifal-mg.edu.br

² Professor Adjunto da Universidade Federal de Uberlândia - Faculdade de Matemática. Graduado em Licenciatura em Matemática pela Universidade Federal de Uberlândia (2005), Mestre em Estatística e Experimentação Agropecuária pela Universidade Federal de Lavras (2007), Doutor em Agronomia pela Universidade Federal de Uberlândia (2012) e Pós Doutorado com concentração em Séries Temporais e Multivariada no programa de Pós-Graduação em Estatística Aplicada e Biometria na Universidade Federal de Alfenas (2015). quintiliano@famat.ufu.br

³ Professor Titular de Estatística da Universidade Federal de Lavras Graduado em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras em 1985, mestre em Estatística pela Universidade Estadual de Campinas em 1991, e doutor em Engenharia pela Universidade de São Paulo em 2000.. marcelo.oliveira@ufla.br

Recebido em: 08/12/2015 - Aprovado em: 05/01/2016 - Disponibilizado em: 30/07/2016

RESUMO: Além de investimento em novas tecnologias e modernização do parque industrial, a competitividade dos produtos brasileiros está ligada ao aumento de produtividade. Os gráficos de controle, principal ferramenta do Controle Estatístico de Processo (CEP), inserem-se nesse contexto no que diz respeito ao controle das características-chave de produtos e processos, em tempo real, garantindo níveis de qualidade desejados, a um custo exigido pelo mercado. Foi realizado um estudo aprofundado da aplicação de gráficos de controle na manufatura de autopeças. Concluiu-se que as características da qualidade avaliadas e os processos em estudo estavam fora de controle estatístico devido a interpretações e uso incorreto das técnicas estatísticas, sugerindo a necessidade de treinamento periódico dos funcionários quanto a filosofia do CEP, em especial padrões de não-aleatoriedade.

Palavras-chave: Gráficos de controle, autopeças, padrões de não-aleatoriedade.

STATISTICAL PROCESS CONTROL IN THE AUTOMOTIVE DEVICES MANUFACTURING

ABSTRACT: In addition to investment in new technologies and modernization of the industrial park, the competitiveness of Brazilian products is linked to increased productivity. Shewhart Control Charts, the main Statistical Process Control tool (SPC), fit into this context regarding the control of the key features of products and processes in real time, ensuring desired quality levels, required by the market. A thorough study of the application of control charts in the automotive devices manufacturing was conducted. It was concluded that the evaluated quality characteristics and processes studied were out of control due to statistical interpretations and incorrect use of statistical techniques, suggesting the need for periodic training of employees and the SPC philosophy, especially in non-randomness patterns.

Keywords: Control charts, automotive devices, non-randomness patterns.

Introdução

Atualmente, os mercados estão cada vez mais competitivos e a fidelidade dos clientes cada vez mais disputada. As empresas

que buscam o crescimento e almejam o mercado mundial devem comercializar produtos e serviços de forma a “encantar” seus clientes. Para surpreender os

consumidores com produtos interessantes, preços atrativos e de excelente qualidade, são necessárias várias horas de muito empenho e dedicação na elaboração de projetos consistentes. Dentro do contexto da busca por produtos perfeitos, encontram-se várias estratégias que visam aumentar a vantagem competitiva das organizações. Entre elas, encontram-se o Seis Sigma e, conseqüentemente, o Controle Estatístico de Processo ou CEP (RUTHES *et. al*, 2006).

Diversas empresas do setor manufatureiro estão apresentando bons resultados operacionais, decorrentes da aplicação de uma metodologia denominada Seis Sigma, cujo principal objetivo é controlar e reduzir a variabilidade do processo. Essas empresas estão apresentando resultados financeiros expressivos como consequência deste método, aumentando o interesse crescente por programas de melhoria que focalizem também em ganhos financeiros.

Diversos métodos estatísticos são utilizados dentro do contexto do Seis Sigma e alguns deles são: Controle Estatístico de Processo, Planejamento de Experimentos (DOE), Análises de Capacidade de Processos, Amostragem entre outros. Em especial com relação às técnicas estatísticas, apesar de seu potencial, existe dificuldade na sua utilização. Quando essas técnicas não produzem o resultado desejado, acabam perdendo o crédito. Para evitar esse fracasso, assuntos relativos a qualidade deve fazer parte das

preocupações da alta gerência, caso contrário, não haverá uma priorização dos programas de qualidade.

Dentro deste contexto, o CEP é uma ferramenta simples e sua efetividade é testemunhada por uma repetição fisicamente estabelecida nas indústrias por todo o mundo. Por meio dela, consegue-se controlar características significativas do produto e do processo, em tempo real, garantindo níveis de qualidade, a um custo suportado pelo mercado. O Controle Estatístico de Processo é, sem dúvida, uma das mais poderosas metodologias desenvolvidas, visando auxiliar no controle eficaz da qualidade do produto e seus processos produtivos, usando a estatística como metodologia para analisar as limitações do processo (NOMELINI *et. al*, 2009).

Montgomery (2004) afirma ainda que, em qualquer processo de produção, independentemente de quão bem planejado ou cuidadosamente mantido ele seja, certa quantidade de variabilidade inerente ou natural sempre existirá. Ainda segundo o autor, o CEP é uma poderosa coleção de ferramentas de resolução de problemas, sendo útil na obtenção da estabilidade do processo e na melhoria da capacidade por meio da redução da variabilidade. Entre as principais ferramentas do CEP, os gráficos de controle se destacam. Eles estão entre os mais utilizados no que diz respeito ao

monitoramento de processos (WERKEMA, 1995).

Segundo Costa *et. al* (2004), nos estudos de gráficos de controle de Shewhart é necessário que os valores observados da variável monitorada sejam independentes. Em consequência, espera-se que as variáveis sejam estacionárias e não-correlacionadas, para se ter eficiência em detectar condições de fora de controle de modo confiável (MONTGOMERY, 2004).

De certa maneira, o gráfico de controle é o teste da hipótese de que o processo está em estado de controle estatístico, hipótese nula, ou está fora de controle estatístico, hipótese alternativa. A interpretação dos gráficos de controle e a definição do momento em que o processo se encontra fora de controle são feitas por meio do exame da ocorrência (ou não) dos padrões de não-aleatoriedade.

Alguns métodos para procurar padrões de não-aleatoriedade, que indicam falta de controle, segundo Werkema (1995), são: Pontos fora dos limites de controle; Padrões cíclicos ou de periodicidade; Sequência ou deslocamento de nível do processo; Tendência: Mistura ou aproximação dos limites de controle; Estratificação ou aproximação da linha média.

Além desses padrões, a verificação de que o processo está ou não sob controle é feita pelo exame de amostras extraídas periodicamente. No processo sob controle, a

característica da qualidade do conjunto dos itens produzidos possui distribuição normal. Quando a variabilidade se torna anormal, as amostras indicarão que o processo de fabricação se modificou e ficou fora de controle (ARIENTE *et. al*,2005).

Desta forma, este trabalho propôs a ilustrar e discutir a racionalização do CEP, priorizando a atualização nos procedimentos e também nas técnicas de aplicação da ferramenta aplicados a um processo de produção de uma indústria de autopeças, para determinação de possíveis pontos que poderão ser melhorados no controle de qualidade.

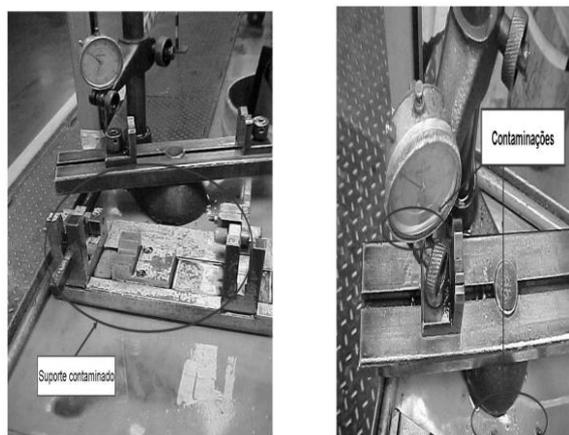
Material e Métodos

Analisou-se um processo de produção de uma indústria de autopeças alvo do estudo, para determinação de possíveis pontos que poderão ser melhorados no controle de qualidade, relacionados aos procedimentos do uso de gráficos de controle. Assim, enfocou-se a racionalização do CEP, priorizando a atualização nos procedimentos e também nas técnicas de aplicação da ferramenta.

Foi feito um levantamento de cartas de controle, e detectado que 73 máquinas estavam controlando onze características que eram diferenciadas para atributos e variáveis. Os maquinários levantados estavam distribuídos em quatro áreas da fábrica: usinagem de haste, usinagem de tubo, montagem e preparação de componentes.

Escolheram-se algumas de suas características para serem analisadas. No processo de escolha, levaram-se em conta os que se encontravam com bom índice de capacidade (próximo de 2,0) e outro com índice muito grande (maior que 2,0). As características escolhidas foram: diâmetro interno (máquina marteladora) e profundidade (máquina prensa de cunhar).

Figura 1. Relógio comparador usado na medição da profundidade da válvula de admissão.



Estas variáveis foram caracterizadas, em que a máquina ao qual vieram as informações do diâmetro do corpo e profundidade foram, respectivamente, marteladora e prensa de cunhagem, estas com especificações de engenharia 30,12/30,18mm e 0,1/0,2 mm, aferidas a partir da coluna eletrônica e relógio comparador. O estudo de repetitividade e reprodutibilidade aos quais foram submetidos tais instrumentos de medição estavam adequados e com R&R abaixo de 10%, sendo que o estado de conservação para o relógio comparador não

era apropriado, pois, foi observado bastante contaminação ou sujeira (Figura-1), o que pode interferir nos resultados de medições, assim antes da coleta de dados foi feita a adequação das condições de uso de tal ferramenta. O local ou posição da coluna eletropneumática era inapropriado por estar a uma grande distância dos usuários, além disso, foi observado que não havia a instrução de uso para o relógio comparador. Os gráficos de controle utilizados para cada uma das características da qualidade avaliadas foram respectivamente, gráfico média e amplitude com tamanho de subgrupo igual a três e gráfico medida individual e amplitude móvel com subgrupo 1, devido ao fato da taxa de produção ser muito lenta e não convém esperar acumular uma quantidade de peças para estar amostrando. Verificou se os gráficos utilizados para monitorar cada processo eram utilizados de forma correta, ou seja, se, para determinada característica da qualidade, o tipo de gráfico empregado era o ideal. Foram construídos os gráficos de controle para as variáveis analisadas.

Segundo Montgomery (2004), os limites de controle para gráficos da média e amplitude são:

Média	Amplitude
$LSC = \bar{\bar{x}} + A_2\bar{R}$	$LSC = D_4\bar{R}$
$LM = \bar{\bar{x}}$	$LM = \bar{R}$
$LIC = \bar{\bar{x}} - A_2\bar{R}$	$LIC = D_3\bar{R}$

em que amplitude média é dada por \bar{R} ; $\bar{\bar{x}}$ é a média das médias e A_2 , D_3 , e D_4 são

constantes tabeladas dependentes do tamanho do subgrupo utilizado.

Para monitorar processos com amostras unitárias, ou seja, amostras que consistem de medidas individuais. Sendo assim a medida de variabilidade é encontrada pela amplitude móvel (AM), que é dada pela fórmula:

$$AM_i = |x_i - x_{i-1}|; i = 2, \dots, m,$$

em que m é o número de observações individuais coletadas.

Observe-se que cada amostra tem uma única observação para a variável da qualidade a ser monitorada, não sendo possível estimar $\bar{\bar{x}}$ e nem \overline{AM} para a primeira observação. Logo, a estimativa da média do processo é dada pela média amostral e da variabilidade do processo pela amplitude móvel. Dessa forma, seguem abaixo os limites de controle para o gráfico X e AM , segundo Montgomery (2004):

Medidas individuais	Amplitude Móvel
$LSC = \bar{x} + 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$	$LSC = D_4 \overline{AM}$
$LM = \bar{x}$	$LM = \overline{AM}$
$LIC = \bar{x} - 3 \frac{\overline{AM}}{d_2}$	$LIC = D_3 \overline{AM}$

sendo as constantes d_2 , D_3 , e D_4 são tabeladas e \overline{AM} é dado por:

$$\overline{AM} = \sum_{i=2}^m \frac{AM_i}{(m-1)}.$$

Foi selecionado um inspetor de cada área estudada, levando-se em conta a experiência no processo, nos procedimentos de preenchimento e de análise das cartas de CEP. Esta carta é composta pelos gráficos de controle, com limites de controle definidos pelo setor de engenharia da qualidade, características do processo e de um diário de bordo, no qual são feitas observações referentes a prováveis causas especiais e ações tomadas. Sendo que neste estudo foi considerado os dados coletados pelo inspetor como sendo padrão ouro ou valor verdadeiro.

Para cada processo a ser avaliado, foi feito o sorteio de qual máquina participaria do estudo, depois a este sorteado foi feito o acompanhamento da retirada de amostra de peças pelos operadores da mesma, que faz o procedimento padrão, ou seja, mede a característica da qualidade, marca os valores nas cartas de CEP, fazendo novas amostragens na frequência de três ou uma amostra, dependendo da característica estudada. O inspetor selecionado realizou o mesmo procedimento para as mesmas peças amostradas pelo operador. O intuito era verificar se o operador estava medindo, marcando e analisando corretamente e, com isso, verificar se as cartas dos operadores mostram, verdadeiramente, o que acontece no processo. As amostragens foram feitas em diferentes turnos e com diferentes operadores da máquina, em que cada turno um operador diferente.

Foram estudados os padrões de não-aleatoriedade dos processos escolhidos. Sendo este estudo realizado segundo os resultados descritos por Nomelini *et. al* (2009). Estes estudos foram realizados a 1% de significância.

Analizou-se a autocorrelação dos dados, pois ela pode indicar possíveis causas especiais ou, ainda, mostrar que não se pode utilizar os gráficos de controle de Shewhart, por conter dependência temporal nas observações.

Um estudo do tamanho de amostras ou subgrupos amostrais foi realizado para verificar se o tamanho atual é suficiente ou garante a detecção verdadeira de um padrão de não aleatoriedade, ou seja, que tal padrão ou ponto fora dos limites não seja um alarme falso, e também a determinação da frequência de amostragem a ser realizada em cada processo estudado segundo estudos feitos por Montgomery (2004).

Os índices de capacidade são precisos apenas em processos estáveis, não sendo aconselhável seus cálculos caso não haja esta estabilidade. Foram calculados os índices de capacidade para os dados do operador e do inspetor, mesmo para processos instáveis com a intenção de confrontar e discutir os resultados do estudo de capacidade.

Além disso, para demonstrar a validade dos conceitos literários e dos padrões de não-aleatoriedade, foram simuladas no software R amostras de uma distribuição

normal com média e desvio padrão vindos de um dos processos estudados. Construíram-se também os gráficos de controle e foram feitos correlograma e testes de normalidade.

As análises dos gráficos de controle, correlogramas, índices de capacidade e teste de normalidade foram feitas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2015). Nos estudos para dimensionar tamanho de amostra, poder do teste dos gráficos e tempo esperado até o sinal (TES) de alarme foi utilizado o software Excel.

Resultados e Discussão

Após a realização da amostragem e coleta de informações tanto dos operadores da máquina quanto do inspetor e a partir desses dados foram construídos gráficos de controle. Foi feito estudos dos padrões e não-aleatoriedade, testes de normalidade e estudos de autocorrelação nos resultados obtidos pelas duas situações.

Para a característica da qualidade, diâmetro interno do tubo, pode-se observar pelo gráfico da média e amplitude que para o mesmo processo com amostras tomadas das mesmas peças os gráficos de controle foram muito diferentes, quando comparado os resultados do operador e inspetor (Figura-2 e 3), sendo que os mesmos deveriam ter pequenas diferenças advindas somente da variabilidade do instrumento de medição. Pode-se, então, questionar que, neste processo, o operador pode estar necessitando

de treinamento sobre os procedimentos de marcação da carta de CEP, ou ainda referentes ao manuseio do instrumento de medição. Deve-se observar também que há alguns padrões de não-aleatoriedade no gráfico do operador e, mesmo assim, não foi parado o processo para possíveis ações, visto que, no diário de bordo, não continha nenhuma observação.

Os gráficos mostram, ainda, que o processo realmente está fora de controle, como pode ser visto no gráfico da Figura-3, que representa corretamente como está o processo. Pelos estudos dos padrões de não-

aleatoriedade, pode-se detectar a existência de pontos fora dos limites de controle, sequência de pontos consecutivos acima e abaixo da linha média e estratificação (Quadro 1). Além do gráfico de controle, foi feito teste de normalidade para verificar a normalidade do processo e se o mesmo se encontra sob controle estatístico. O resultado do teste de normalidade de Shapiro-Wilk mostra que tanto para as medidas do operador ($W=0,97$; $p=0,001$) quanto para a do inspetor ($W=0,98$; $p=0,021$) o processo se encontra não Normal, assim, tem-se mais indício que o processo está fora de controle.

Figura 2 - Gráfico de controle para os dados do diâmetro interno coletados pelo operador com tamanhos de amostras $n = 3$ e frequência de meia em meia hora.

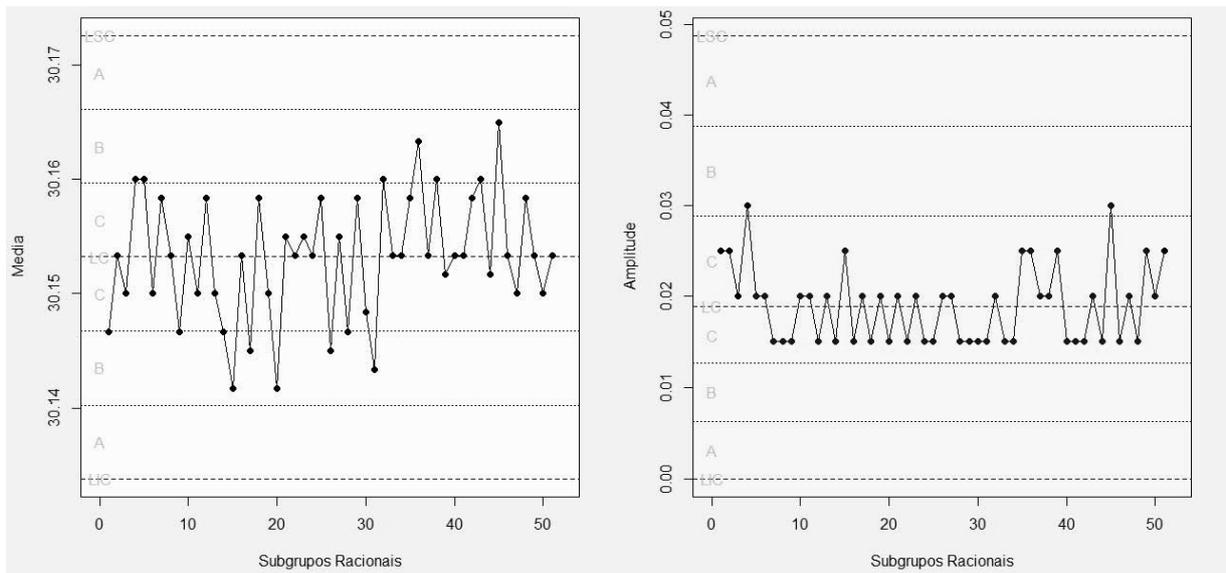
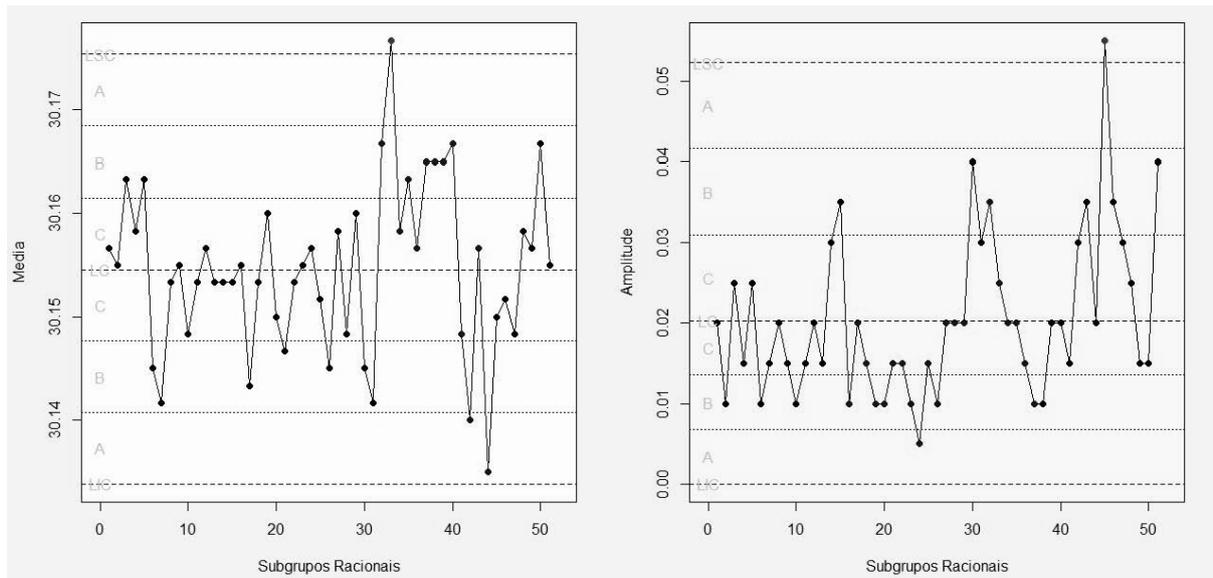


Figura 3 - Gráfico de controle para os dados do diâmetro interno coletados pelo inspetor com tamanhos de amostras $n = 3$ e frequência de meia em meia hora.



Os limites de controle atuais para o gráfico de média são $LSC = 30,180$, $LM = 30,150$ e $LIC = 30,120$ e, para o gráfico da amplitude, são $LSC = 0,045$, $LM = 0,021$ e $LIC = 0$, estes retirados das cartas de CEP utilizadas no chão de fábrica. Observe que estes já têm uma pequena diferença dos limites estimados a partir dos dados amostrados.

O dimensionamento do tamanho de amostras, frequência de amostragem e se os mesmos são eficientes na detecção de deslocamentos no processo é baseado na teoria de poder dos gráficos e no tempo de espera para detecção. Como os gráficos de média e de amplitude têm diferentes sensibilidades de detecção, a escolha do tamanho das amostras e da frequência foi feita levando-se em conta os prós e contras das distribuições de probabilidade dos dois tipos

de gráficos. Desta forma, sugere-se tomar uma amostra de tamanho sete e frequência de amostragem de 0,5 horas, garantindo, assim, um poder alto para o gráfico da amplitude.

Para ilustrar tal escolha, tem-se para o gráfico da média, quando $n = 7$ e $h = 0,5$ hora, o poder de detecção igual a 75,11%, TES de 25 minutos e a probabilidade de alarme falso é 0,1%, isso, com deslocamentos da média de 1,5 desvio padrão. Na mesma simulação, com $h = 1$ hora, o poder de detecção é igual a 81,01%, TES é 44 minutos e a probabilidade de alarme falso é 0,2%. Para a escolha da frequência de amostragem, o bom senso e o conhecimento do processo são fatores relevantes, pois, nas duas simulações acima, obtiveram-se um poder relativamente alto e baixas probabilidades de alarme falso. Logo, esses fatores podem auxiliar na escolha do

TES ideal, e finalmente definir qual a frequência de amostragem.

Quadro 1 - Análise dos padrões de não-aleatoriedade das medidas do inspetor, para a variável diâmetro interno.

Padrões de não-aleatoriedade	Evidências	Ações do operador	Ações a serem tomadas
Pontos Fora	1 ponto fora em \bar{X} e R.	Nenhuma, seu gráfico não detectou esta evidência.	Treinar o operador e eliminar causas especiais.
Periodicidade	Nenhuma.	—	—
Sequência	Mais de sete pontos consecutivos em \bar{X} e R.	Nenhuma, também não detectou tal evidência.	Treinar o operador e eliminar causas especiais.
Tendência	Nenhuma.	—	—
Mistura	Nenhuma.	—	—
Estratificação	+ de 2 pontos consecutivos e + de 7 pontos dentro do limite de 0,1-sigma no gráfico R; + de 3 pontos consecutivos e + de 10 pontos dentro do limite 0,2-sigma nos gráficos \bar{X} e R; + de 3 pontos consecutivos e + de 12 pontos dentro do limite 0,3-sigma nos gráficos \bar{X} e R; + de 3 pontos consecutivos em \bar{X} e R e + de 15 pontos em \bar{X} , dentro do limite 0,4-sigma; + de 4 pontos consecutivos e + de 17 pontos dentro do limite 0,5-sigma nos gráficos \bar{X} e R; + de 4 pontos consecutivos e + de 19 pontos dentro do limite 0,6-sigma nos gráficos \bar{X} e R;	Nenhuma. Não constam na carta os limites para possível análise.	Eliminar causas especiais e adicionar os limites nas cartas para que o operador possa analisar.
Não-Normalidade	Processo se encontra não-normal.	—	Procurar e eliminar causas especiais.

Como o processo está fora de controle, pode-se dizer que ele também está instável. Segundo Werkema (1995), não faz sentido

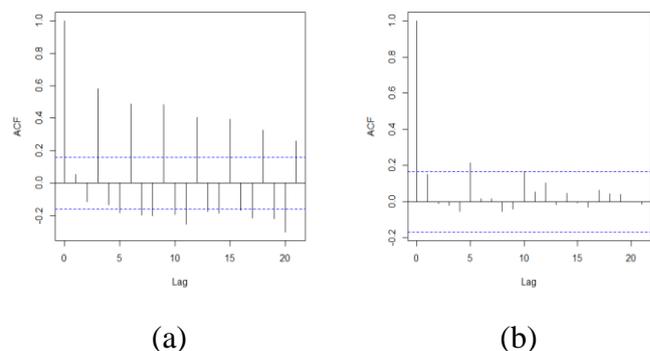
calcular a capacidade de um processo instável, isso porque os índices de capacidades são predições e só se pode

predizer algo que é estável. Os cálculos para efeito de comparar o valor dos índices de capacidade desta amostra com o estudo de capacidade realizado no mesmo mês para este processo foram feitos. Os valores da capacidade do processo a partir dos dados dos operadores (ver índices de capacidade atual na Tabela 1) foram diferentes dos calculados para a amostra do inspetor, são eles: $C_p = 0,83$ e $C_{pk} = 0,71$. Estes foram bem abaixo dos encontrados pelos dados dos operadores, como os valores reais do processo são estes encontrados a partir dos dados do inspetor, pode-se observar que os valores dos índices estão abaixo de 2,0 o que acarretaria em dizer que o processo é incapaz, podendo ter produção não-conforme e além disso com o $C_{pk} < C_p$ caracteriza que a linha central do processo está dentro ou coincidindo com um dos limites de especificação, podendo chegar a ter 50% de produção acima ou abaixo dos limites de especificações (SOARES, 2001). Mas, como o processo foi instável não se pode olhar para os valores dos índices e fazer a interpretação dos mesmos, dizendo que o processo está incapaz. Logo, deve-se saber se o processo está estável e depois, sim, interpretar os índices. Sugere-se também utilizar os intervalos de confiança para índices de capacidade, no lugar das estimativas pontuais.

Outro ponto importante é a análise de autocorrelação (Figura-4a). Nesse caso, para os dados do inspetor (realidade do processo)

houve autocorrelação, visto que no correlograma existe vários lags acima dos intervalos de confiança, então, o primeiro passo é verificar se esta autocorrelação deve-se somente às causas especiais de variação. Caso seja verdade, então, as providências cabíveis devem ser tomadas e eliminadas tais causas especiais. Se esta autocorrelação for inerente ao processo, então não é recomendável continuar aplicando-se o gráfico \bar{X} e R , pois este supõe não haver autocorrelação. Para solucionar este problema, podem-se seguir algumas sugestões de Montgomery (2004), como a de ajustar um modelo ARIMA depois aplicar os gráficos de controle nos resíduos ou, ainda, seguir outras mais convenientes.

Figura 4 – Correlograma para os dados do diâmetro interno (a) e profundidade (b), coletados pelo inspetor.



Para a característica da qualidade profundidade da válvula de admissão. O gráfico de controle adotado foi o de medidas individuais, gráfico X e AM. Semelhante ao processo anterior, os gráficos de controle para as medidas dos operadores e inspetor foram muito diferentes (Figura-5 e 6), da mesma

forma os operadores precisam de instruções sobre a operação do CEP e reciclagem referentes às metodologias de controle da qualidade.

Os gráficos mostram, ainda, que o processo realmente está fora de controle, como pode ser visto na Figura-6, gráfico dos dados do inspetor, este gráfico representa a realidade do processo, onde os pontos em destaque são alguns padrões de não-aleatoriedade. Alguns dos padrões de não-aleatoriedade encontrados foram: pontos fora dos limites de controle, periodicidade, sequência de pontos consecutivos, mistura e estratificação (Quadro-2). No gráfico do operador foi observado pontos fora dos limites de controle e periodicidade, mas mesmo assim, não se parou o processo para possíveis ações, visto que, no diário de bordo, não continha nenhuma observação sobre ações realizadas para correção do processo.

Para as duas variáveis envolvidas no estudo pode-se destacar alguns motivos para as causas das grandes diferenças entre os gráficos de controle e os resultados obtidos entre os dados do operador e do inspetor são a falta de conhecimento sobre a filosofia do CEP, sobre a metodologia e também por simplesmente acharem que se as medidas encontradas estiverem entre os limites de especificações já satisfaz a metodologia de controle de qualidade, pois os operadores ao momento de coleta ou medição das peças tentam guardar ou decorar as medidas e depois anotam aleatoriamente na carta de

controle valores diferentes daqueles aferidos, a distância do instrumento de medição do local de coleta e local da carta de controle foi o que levou os operadores fazerem essas anotações erradas.

Além do gráfico de controle, foram feitos testes de normalidade para verificar a normalidade do processo e se o mesmo se encontra sob controle estatístico. O resultado do teste de normalidade de Shapiro-Wilk mostra que tanto para as medidas do operador ($W=0,69$; $p<0,01$) quanto para a do inspetor ($W=0,88$; $p<0,01$) o processo se encontra não-normais, assim, tem-se mais indício que o processo está fora de controle.

Figura 5 - Gráfico de controle para os dados da profundidade coletados pelo operador com, tamanhos de amostras $n = 1$ e frequência de meia em meia hora.

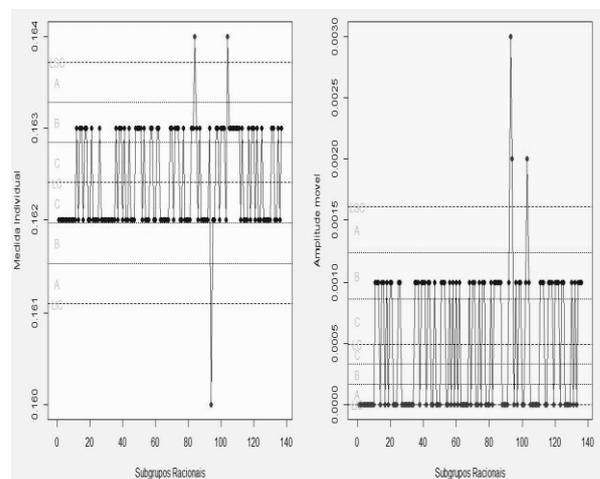
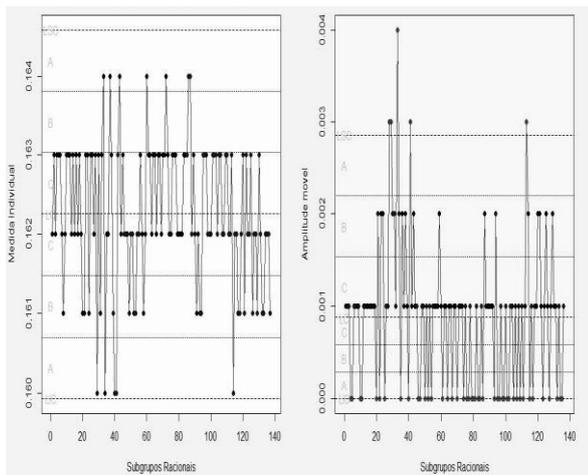


Figura 6 - Gráfico de controle para os dados da profundidade coletados pelo inspetor com, tamanhos de amostras $n = 1$ e frequência de meia em meia hora.



Os limites de controle atuais, para o gráfico de medidas individuais são $LSC = 0,166$, $LM = 0,162$ e $LIC = 0,158$ e para o gráfico da amplitude móvel são $LSC = 0,002$, $LM = 0,001$ e $LIC = 0$, estes retirados das cartas de CEP utilizadas em tal processo. Estes não tiveram grandes diferenças para os limites estimados a partir dos dados amostrados, mas depois que o processo estiver sob controle essa diferença pode aparecer.

O estudo da escolha do tamanho de amostras foi realizado levando-se em conta as limitações do processo, sendo esta $n = 1$. Por isso a escolha deste gráfico de controle, mas, com cuidado, deve-se estudar o tamanho do deslocamento a se detectar, pois, caso se queira detectar um deslocamento muito pequeno na média, a melhor alternativa, segundo Montgomery (2004), é o gráfico de médias móveis exponencialmente ponderadas ou de soma cumulativa. A escolha da

frequência de amostragem deve levar em conta o bom senso e o conhecimento do processo. Neste caso, sugere-se continuar utilizando a frequência de meia em meia hora, mas isso não impede que se possa escolher uma frequência maior, caso o processo tenha um fluxo de produção maior.

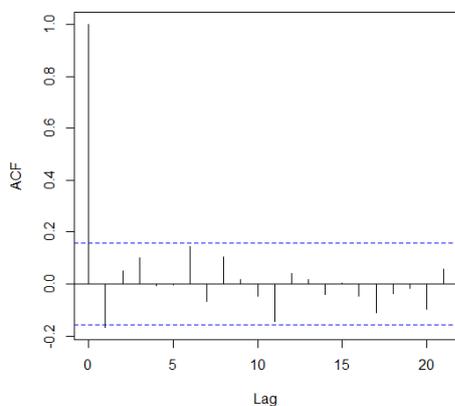
Como o processo está fora de controle, pode-se dizer que ele também está instável. Os cálculos para efeito de comparar o valor dos índices de capacidade do operador com o inspetor foram realizados, sendo que os valores dos índices de capacidade dos operadores podem ser observados na Tabela 1, estes foram diferentes dos calculados para a amostra do inspetor, os quais tiveram valores iguais a $C_p = 21,49$ e $C_{pk} = 16,22$, valores também acima de 2,0, mas diferentes, o que acarreta na interpretação de processo fora do alvo ou não centrado (SOARES, 2001). Observe que, apesar do processo estar instável, os índices foram muito altos, o que seria ideal, ou seja, um processo muito capaz. Mas, nesse caso, índices muito altos não são sinônimo de capacidade, pois, como o processo é instável, não se pode prever que ele continuará se comportando da mesma forma. Então, neste instante, em relação às especificações, o processo estaria adequado, mas a qualquer momento pode não mais satisfazê-las.

A análise de autocorrelação nos dados do inspetor pode ser visto na Figura-4b, em que se observa uma pequena significância apenas no 6^a Lag, que pode ser devido à falta

de controle do processo. Mas os dados podem ser considerados estacionários pois dos 20 lags apenas um ficou fora dos intervalos de confiança, estando dentro dos 5% de margem de erro.

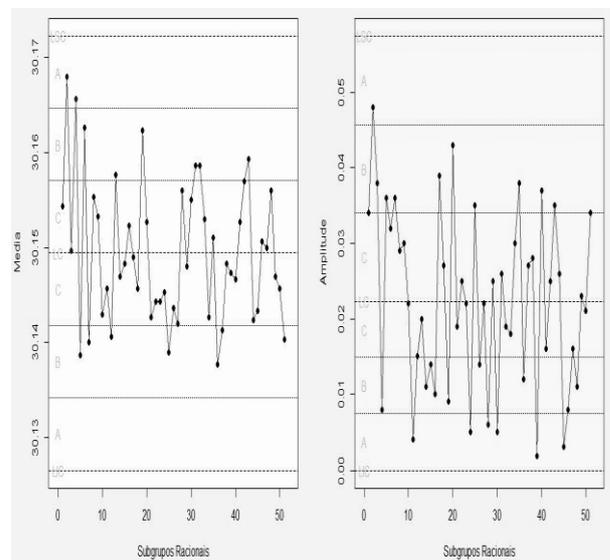
Para os dados simulados a partir de uma distribuição normal para um processo com a característica do diâmetro interno usando média e desvio padrão, respectivamente, iguais a 30,155 e 0,0125. A partir destes dados construiu-se os gráficos de controle de média e amplitude. Observa-se na Figura-8 que o processo se encontra aparentemente sob controle estatístico, pois não contém nenhum padrão de não-aleatoriedade. Conforme esperado, o teste de Shapiro-Wilk para normalidade nos dados simulados foi não significativo ($W=0,99$; $p=0,414$). Da mesma forma ocorreu para o teste de autocorrelação, onde pelo correlograma, Figura-7, pode-se afirmar que os dados simulados foram estacionários, idem Figura-4b.

Figura 7 - Correlograma para os dados simulados.



Logo, o processo se encontra sob controle, normal, estável. Os índices de capacidade são: $C_p = 0,76$ e $C_{pk} = 0,74$, note que os valores dos índices de capacidades são muito próximos, o que acarreta em dizer que o processo está centrado, mas como o valor dos índices está abaixo de 2,0, pode-se dizer que o processo está incapaz de atender as especificações. Observe que mesmos os dados sendo normais e o processo estável, ele ainda não atende as especificações de seu projeto, neste caso pode se confiar na informação que os índices de capacidade trazem do processo. Logo, se este fosse um processo real teríamos um processo centrado, mas com alta variabilidade, aconselhando diminuir essa variabilidade, para que tenha melhores índices de capacidade e consequentemente atender as especificações da característica da qualidade com uma maior folga, ou seja, com uma pequena probabilidade de produção de produto não conforme.

Figura 8 - Gráfico de controle para os dados simulados com, tamanhos de amostras $n = 3$ e frequência de meia em meia hora.



Quadro 2 - Análise dos padrões de não-aleatoriedade das medidas do inspetor para a variável profundidade.

Padrões de não-aleatoriedade	Evidências	Ações do operador	Ações a serem tomadas
Pontos Fora	4 pontos fora no gráfico R.	Nenhuma, seu gráfico não detectou esta evidência, pois, os limites das cartas de CEP são maiores.	Treinar o operador, eliminar causas especiais e atualizar os limites de controle.
Periodicidade	+ de 16 pontos cíclicos.	Nenhuma.	Eliminar causas especiais.
Seqüência	Mais de sete pontos consecutivos em \bar{X} e R.	Nenhuma, mesmo sendo detectada tal evidência.	Treinar o operador e eliminar causas especiais.
Tendência	Nenhuma.	—	—
Mistura	2 pontos consecutivos em \bar{X} e R em todos os níveis de limites (2 a 2,4)-sigma + de 9 dentro dos limites entre 2,0-sigma e 3,0-sigma, + de 8 em 2,1-sigma e 3,0-sigma, +de 7 em 2,2-sigma e 3,0-sigma, tudo em \bar{X} ; + de 5 dentro dos limites entre 2,4-sigma e 3,0-sigma em \bar{X} e R.	Nenhuma. Não constam na carta os limites para possível análise.	Eliminar causas especiais e adicionar os limites nas cartas para que o operador possa analisar.
Estratificação	+ de 3 pontos consecutivos em R e + de 26 pontos dentro dos limites 0,3-sigma nos gráficos R; + de 3 pontos consecutivos em \bar{X} e R e + de 30 pontos em \bar{X} e R dentro dos limites 0,4-sigma; 4 pontos consecutivos em \bar{X} e + de 4 em R e + de 38 pontos dentro dos limites 0,5-sigma nos gráficos \bar{X} e R; 4 pontos consecutivos em \bar{X} + de 4 em R e + de 43 pontos dentro dos limites 0,6-sigma nos gráficos \bar{X} e R;	Nenhuma. Não constam na carta os limites para possível análise.	Eliminar causas especiais e adicionar os limites nas cartas para que o operador possa analisar.
Não-Normalidade	Processo se encontra não-normal.	—	Procurar e eliminar causas especiais.

Considerações Finais

Para a análise das duas características da qualidade, concluiu-se que os processos estudados se encontram, realmente, fora de controle estatístico, como pode ser observado nos gráficos de controle e nos estudos de padrões de não-aleatoriedade, sendo um deles a normalidade dos dados.

Os processos, analisados na empresa, encontram-se com certa significância de autocorrelação, o que pode levar a resultados não confiáveis. Recomenda-se a retirada de causas especiais desses processos para que eles voltem ao estado sob controle, tornando, assim, o processo confiável e que, realmente, se encaixe na filosofia do CEP, ou seja, prever a estabilidade ao longo do tempo, o que não é possível em um processo fora de controle.

Para descobrir quais são as causas especiais do processo, sugere-se utilizar outras ferramentas do CEP, como a folha de verificação, que facilitará e organizará o processo de coleta e registro dos dados. Depois de preenchida a folha de verificação, pode-se construir um gráfico de Pareto por meio da porcentagem de cada defeito encontrado e, a partir daí, descobrir os poucos vitais, ou seja, aquele problema que resulta em maior prejuízo para a empresa.

Descobertas essas causas especiais, pode-se montar um diagrama de causa-e-efeito, em que o efeito pode ser o pouco vital

encontrado. Um *brainstorming*, com todos os envolvidos no processo, neste momento, é muito útil. Assim, recomenda-se treinar o operador e atualizar os limites de controle. Para isso, o processo deve estar livre de causas especiais, pois, só assim, a principal hipótese dos gráficos de controle de Shewhart, a de normalidade, estará satisfeita.

No estudo do diâmetro interno, optou-se, por modificar o tamanho das amostras para melhorar a detecção dos gráficos. Logo, a amostragem deve ser $n=7$ e a frequência de amostragem de $h=0,5$ horas

As cartas de CEP utilizadas pelos operadores não contêm os limites construídos dos padrões de não-aleatoriedade, sequências, mistura e estratificação. Conclui-se, então, que para facilitar a identificação destes padrões recomenda-se adicionar estes limites nas cartas de CEP dos operários.

Da análise dos dados simulados, pode-se concluir que um processo de amostras normais está sob controle ou estável.

Assim, para que o CEP possa auxiliar no gerenciamento da qualidade no processo de fabricação de peças automobilísticas é primordial que as medidas sejam confiáveis, concomitantemente com a correta interpretação dos gráficos de controle. Desta forma sugere-se a reciclagem periódica dos funcionários quanto à filosofia do CEP, em especial os padrões de não-aleatoriedade.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais (Fapemig) e a

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

ANÁLISE DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO (MSA). *Manual de referência*, 3 ed., Chrysler, Ford, GM, p. 193, 2004.

ARIENTE, M.; et. al Processo de mudança organizacional: estudo de caso Seis Sigma. *Revista FAE*, Curitiba, v. 8, n. 1, p. 81-92, jan./jun. 2005.

COSTA, A. F. B.; EPPRECHT, E. K.; CARPINETTI, L. C. R. *Controle estatístico de qualidade*. São Paulo: Atlas, 2.004, 336p.

MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. Tradução Ana Maria Lima de Farias. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004, 516p.

NOMELINI, Q. S. S; FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, de M. S. Estudos dos padrões de não aleatoriedade dos gráficos de controle de Shewhart: um enfoque probabilístico. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 16, n. 3, p. 414-421, jul.-set. 2009.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2015. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 2015.

RUTHES, S.; CERETTA, P. S.; SONZA, I. B. Seis Sigma: melhoria da qualidade através da redução da variabilidade. *Revista Gestão Industrial*, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, v.02, n. 02, p.181-199, 2006.

SOARES, G. M. V. P. de P. *Aplicação do controle estatístico de processo em indústria de bebidas: um estudo de caso*. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

WERKEMA, M. C. C. *Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos*. Belo Horizonte: QFCO, 1995, 128p.